

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное
подразделение Федерального государственного бюджетного научного
учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской
академии наук

На правах рукописи

Ахметзянова Миляуша Ильгамовна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ
МИГРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА
НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА**

Направление подготовки – 38.06.01 Экономика

Профиль: Математические, статистические и инструментальные методы
экономики

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Уфа 2024

Работа выполнена в Институте социально-экономических исследований – обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИСЭИ УФИЦ РАН)

Научный руководитель: Низамутдинов Марсель Малихович, кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором экономико-математического моделирования ИСЭИ УФИЦ РАН

Рецензенты: Ризванов Дмитрий Анварович, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского университета науки и технологий (УУНиТ)

Зулькарнай Ильдар Узбекович, доктор экономических наук, заведующий лабораторией современных проблем региональной экономики ИСЭИ УФИЦ РАН

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Введение санкционных ограничений, свертывание международных отношений, приведшие к существенному снижению объемов внешнеторгового оборота и интенсивности взаимодействия стран мира в технологической и финансовой сфере, продолжают оказывать существенное влияние на экономическое развитие Российской Федерации. Одной из актуальных задач в рамках общей проблематики совершенствования механизмов стратегического планирования является расширение возможностей применения существующих методических и инструментальных средств для определения взаимосвязанности уровня экономического развития территориальных образований и миграционных процессов, в том числе с точки зрения последующего формирования прогнозных сценариев изменения миграционной привлекательности субъектов Российской Федерации. Эффективным инструментом решения этой задачи является разработка и применение различного класса экономико-математических моделей, позволяющих выявлять ключевые факторы, воздействующие на миграционную активность населения, проводить сценарное прогнозирование для оценки влияния различных мер государственного регулирования на динамику социально-экономического развития территорий в средне- и долгосрочной перспективе.

Предложенный подход к разработке экономико-математической модели, основанный на сочетании методов имитационного моделирования, параметрического анализа, геоинформационных систем и нечеткой логики позволит проводить экспериментальные и сценарные расчеты развития регионов Российской Федерации в сфере регулирования миграционных процессов на межрегиональном уровне.

Степень научной разработанности темы исследования.

Важность данной проблемы обуславливает большое количество новых работ в этой области за последние годы, например, экономико-математическая модель по межстрановому и межрегиональному миграционному обмену, в том числе в Российской Федерации, включая работы Н.В. Акумовой и Г.С. Иванова, Л.Б. Карачуриной, Е.А. Михель и О.С. Крутовой, В.Н. Ракачева и Я.В. Ракачевой, О.Л. Рыбаковского и С.В. Мартыненко, Т.А. Шарифуллиной., В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, Г.Л. Бекларян, А.С. Аكوпова, Е.А. Ровенской, Н.В. Стрелковского.

Для прогнозирования миграционной активности населения, а также с целью исследования данных о взаимовлиянии социально-экономического развития территории и миграционных процессов возможно использование имитационного моделирования на основе агент-ориентированного подхода. Целесообразность применения именно агент-ориентированного моделирования заключается в том, что построение имитационной системы «снизу вверх» на основе использования информации из самых разных источников, начиная от официальной статистики и заканчивая материалами социологических исследований и наблюдений отдельных экспертов, позволяет учесть в модели особенности поведения населения при принятии решения о смене места жительства. Кроме того, агент-ориентированные

модели являются наиболее приближенными к реальности, позволяют учесть роль человеческого фактора в экономике, имитируют процессы микроуровня как результата деятельности множества агентов, повышают качество прогноза социально-экономического развития отдельного региона или страны в целом, усиливают научную обоснованность планово-прогнозных документов.

Большой вклад в направлении моделирования экономических и социальных процессов на основе агент-ориентированного подхода внесли работы В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, Е.Д. Сушко, А.Ф. Агеевой и др.

Работы по применению агент-ориентированного подхода в прогнозировании потребностей рынка труда начали появляться относительно недавно. Существующие модели В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, Г.Л. Бекларян, А.С. Акоповой, Е.А. Ровенской, Н.В. Стрелковского, содержат модели миграционного поведения населения, однако следует отметить, что в большинстве работ по данной тематике не учитывается тот фактор, что снижение уровня экономического развития региона может привести к росту оттока населения и снижению притока квалифицированных мигрантов. Кроме того, в миграционные процессы вовлекается в основном население трудоспособного возраста и женщины фертильного возраста. В связи с этим представляется целесообразным разработать модель миграционного поведения наиболее активной части населения – трудоспособного. Такой подход позволит ограничить перечень рассматриваемых показателей экономического развития территорий и сконцентрировать внимание на трудовой миграции. Это определило постановку цели и задач, выбор объекта и предмета исследования.

Цель исследования:

Разработка модели взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона на основе многоагентного подхода.

Задачи исследования:

1. Разработать концептуальную схему моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона;
2. Обосновать систему показателей и методику оценки миграционной привлекательности региона с применением алгоритмов нечеткой логики;
3. Формализовать модели миграционного поведения населения, определяющие логику принятия решений о смене места жительства;
4. Разработать имитационную модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона на основе многоагентного моделирования и геоинформационных технологий; провести комплексную оценку качества модели с использованием классических статистических методов; разработать сценарный прогноз динамики миграционной активности населения и экономического развития региона в средне- и долгосрочной перспективе.

Область исследования соответствует шифру специальности 5.2.2 «Математические, статистические и инструментальные методы экономики» п.п. 2. (Разработка и развитие математических моделей анализа и прогнозирования

экономических процессов); п.п. 8. (Разработка и оценка имитационных моделей экономических процессов).

Объект исследования: социо-экономико-демографическая система регионального уровня как объект моделирования и управления.

Предмет исследования: миграционные и социально-экономические процессы на региональном уровне и механизмы их взаимовлияния.

Теоретико-методологическая основа: работы отечественных и зарубежных ученых в области теории поведения человека, экономико-математического, агент-ориентированного моделирования.

Информационная база. В работе были использованы статистические и прогнозные данные Федеральной службы государственной статистики, а также аналитические материалы Министерства экономического развития и инвестиционной политики Республики Башкортостан, а также данные опросов.

Научную новизну представляют следующие научные положения, выносимые на защиту:

1. **Предложена концептуальная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития регионов, основанная на системной взаимообусловленности динамики экономических и миграционных процессов на региональном уровне.** *Отличительной* особенностью такого подхода является не только оценка влияния уровня социально-экономического развития на миграционные процессы, но и учет субъективных предпочтений, характеристик индивидуумов на основе которых формируется стратегия поведения мигрантов трудоспособного возраста. Такой подход, основанный на имитационном моделировании, параметрическом анализе, нечеткой логике и геоинформационных системах открывает новые возможности для исследования закономерностей и тенденции коэволюции рассматриваемых процессов (*п.1. Паспорта специальности 5.2.2*).

2. **Разработан двухэтапный алгоритм оценки привлекательности регионов, с которыми осуществляется миграционный обмен Республики Башкортостан.** Предложенная методика базируется на применении корреляционного, параметрического, кластерного анализа для определения потенциальной привлекательности территории для мигрантов. Отличительная особенность предложенного подхода заключается в его ориентированности на выявлении системной взаимообусловленности динамики социально-экономических и демографических процессов, анализе причинно-следственных взаимосвязей, выделении факторов и условий сбалансированного развития этих процессов с применением формализованных математических методов (*п.1. Паспорта специальности 5.2.2*).

3. **Разработана нечеткая модель описания субъективных аспектов миграционного поведения населения трудоспособного возраста.** Отличительной особенностью модели является интеграция данных из социологических опросов, обеспечивающая эмпирическую основу для

моделирования и анализа (желаемая заработная плата). Предложенный подход направлен на оценку слабоформализуемых параметров социальной среды, близких к реальным оценкам, которые люди формируют в повседневной жизни. (п. 8. Паспорта специальности 5.2.2).

4. Разработан алгоритм и имитационная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона на основе многоагентного моделирования и геоинформационных технологий; апробированы программные реализации поведения мигранта. Проведено прогнозирование экономического развития территорий и уровня миграции в разработанной модели (п. 13. Паспорта специальности 5.2.2).

Практическая значимость данного исследования заключается в том, что результаты исследования могут быть применены при разработке и корректировании мер демографической политики в субъектах Российской Федерации, а также при формировании соответствующих программ и стратегий социально-экономического развития территорий, при оценке последствий управляющих воздействий и решении прочих социально-экономических задач.

Апробация результатов исследования. Основные положения исследования докладывались на международных и всероссийских научно-практических конференциях, в том числе на XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России» (Уфа, 2022), 46-ом заседании международной научной школы-семинара «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Москва, 2023).

Теоретические, методические и прикладные результаты исследования использованы при выполнении государственного задания УФИЦ РАН № 075-00504-21-00 на 2021 г., № 075-03-2022-001 ИСЭИ УФИЦ РАН на 2022 г., № 075-01134-23-00 ИСЭИ УФИЦ РАН на 2023 г. и на плановый период 2024 и 2025 годы.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 научных работах, в том числе в 1 журнале уровня RSCI, 1 в рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации обусловлены поставленными целью, задачами и научной логикой исследования. Научно-квалификационная работа включает введение, три главы основного текста, заключение; библиографический список.

Во введении обоснована актуальность темы исследования; определена степень разработанности проблемы; сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования; представлены основные результаты работы и их научная новизна; отражена практическая значимость основных положений и выводов.

В первой главе «Основные аспекты взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона» рассмотрена проблема межрегиональной миграции населения из Республики Башкортостан. В рамках

настоящего исследования проведен сравнительный анализ подходов и инструментальных средств, используемых для имитационного моделирования экономико-демографического развития разноуровневых территориальных систем. Проведенный анализ позволил выявить возможности и ограничения их практического применения в рамках решаемой задачи оценки взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий. С учетом результатов оценки сформулированы основные принципы и требования к разработке соответствующего модельного инструментария. Обоснован подход к исследованию взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона, основанный на комплексном использовании методов имитационного моделирования, нечеткой логики, параметрического анализа, а также современных геоинформационных технологий.

Во второй главе «Оценка влияния уровня привлекательности регионов России на динамику миграционных процессов» на примере одного из крупнейших по численности населения и объему миграционного обмена регионов РФ – Республики Башкортостан проанализированы основные тенденции, динамика и направленность межрегиональных миграционных потоков в России. С помощью методов статистического анализа данных выявлены основные факторы, определяющие зависимость базовых показателей социально-экономического развития регионов и пространственной мобильности населения, с применением методов кластерного анализа выполнена группировка регионов РФ по критерию миграционной привлекательности. Предложена схема расчета интегрального показателя миграционной привлекательности регионов РФ с использованием методов параметрического и кластерного анализа.

В третьей главе «Алгоритмы и программная реализация имитационной модели взаимовлияния миграционной активности населения экономического развития региона» разработаны алгоритмы миграционного поведения агентов. Разработана программная реализация модели в среде AnyLogic. Проведено прогнозирование экономического развития и уровня миграции с помощью разработанной модели.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты научно-квалификационной работы.

II. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Предложена концептуальная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития регионов, основанная на системной взаимообусловленности динамики экономических и миграционных процессов на региональном уровне.

Отличительной особенностью такого подхода является не только оценка влияния уровня социально-экономического развития на миграционные процессы, но и учет субъективных предпочтений, характеристик индивидуумов на основе которых формируется стратегия

поведения мигрантов трудоспособного возраста. Такой подход, основанный на имитационном моделировании, параметрическом анализе, нечеткой логике и геоинформационных системах открывает новые возможности для исследования закономерностей и тенденций коэволюции рассматриваемых процессов.

В рамках данного исследования проведен сравнительный анализ подходов и инструментальных средств, используемых для имитационного моделирования экономико-демографического развития разноуровневых территориальных систем. Проведенный анализ позволил выявить возможности и ограничения их практического применения в рамках задачи оценки взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий. Выявлено, что работы содержат модели поведения, однако следует отметить, что в большинстве работ по данной тематике не учитывается тот фактор, что снижение уровня экономического развития региона может привести к росту оттока и снижению притока квалифицированных мигрантов. Кроме того, в миграционные процессы вовлекается, в основном, население трудоспособного возраста и женщины фертильного возраста. В связи с этим представляется целесообразным разработать модель миграционного поведения наиболее активной части населения – трудоспособного. Такой подход позволит ограничить перечень рассматриваемых показателей экономического развития территорий и сконцентрировать внимание на трудовой миграции.

Одним из основных преимуществ при разработке имитационных моделей экономических систем является возможность комбинированного использования в их структуре различных методов. На сегодняшний день перспективным научным направлением представляется создание комплексной модели, сочетающей в себе АОМ с использованием параметрического анализа, нечеткой логики и геоинформационных технологий. Таким образом, в данном исследовании формируются следующие требования к модели:

- возможность формирования прогноза миграционных потоков и уровня привлекательности территорий;
- учет характеристик индивидуумов, на основе которых формируются стратегии поведения агентов на основе АОМ;
- оценка влияния социально-экономических показателей на привлекательность территорий с помощью факторного анализа;
- решение слабоформализованной задачи обоснования принятия агентом решения о смене места жительства с использованием нечеткой логики;
- осуществление мониторинга миграционных потоков и уровня привлекательности регионов с применением геоинформационных технологий.

Учитывая основные достоинства многоагентного моделирования, предлагаемый подход основан на исследовании системной взаимообусловленности динамики экономических и миграционных процессов на региональном уровне. В качестве агентов в имитационной модели представлены «Человек», «Регион», которые отображают основные характеристики объектов реального мира. На рис.1 представлена укрупненная концептуальная схема

моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития регионов, в которой описаны характеристики агентов и их взаимосвязи.

Агент «Человек» отражает население Республики Башкортостан в масштабе 1:1000 с такими характеристиками, как пол, возраст, уровень образования, желаемый уровень заработной платы и др. На протяжении всего периода проведения имитации, агент подчиняется таким правилам, как рождение, получение образования, миграция, смерть и т.д.

Агент «Регион» объединяет в себе 47 регионов Российской Федерации, в которых наблюдается за период 2017-2022 гг. более 95% суммарного вклада в миграционный обмен с Республикой Башкортостан. Каждый регион описывается набором социально-экономических показателей. Для того, чтобы в модели визуально и наиболее точно реализовать механизмы принимаемых агентом «Человек» решений необходимо выделить группы равноценных регионов, состоящих из условно «хорошо развитых», «умеренно развитых» и «слаборазвитых». Для этого в агент-ориентированной модели был введен в виде переменной агента «Регион» – коэффициент привлекательности региона.

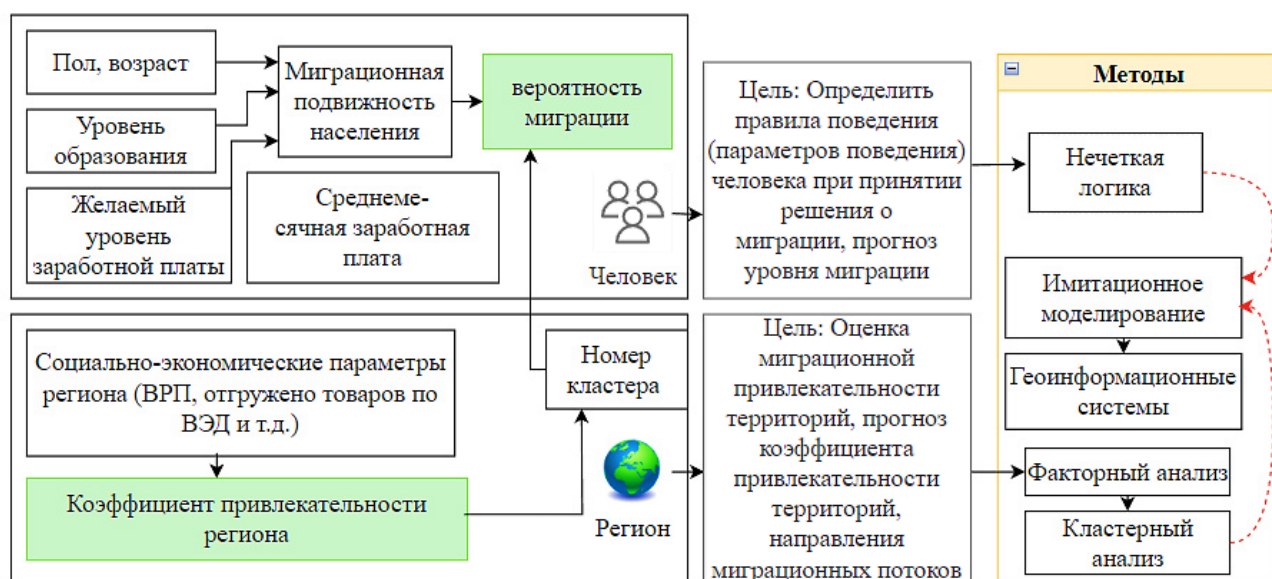


Рис. 1 – Концептуальная схема моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития регионов

Таким образом, предложенный подход к моделированию взаимовлияния миграционной активности и экономического развития территорий основан на логической интеграции алгоритма поведения агентов в общую вычислительную систему.

Полученные при моделировании результаты могут помочь в выработке рыночных механизмов воздействия, которые не только оказывают существенное влияние на микросреду, но и обеспечивают достижение конкретных целей экономического развития региона в средне- и долгосрочной перспективе.

2. Разработан двухэтапный алгоритм оценки привлекательности регионов, с которыми осуществляется миграционный обмен Республики Башкортостан. Отличительной особенностью методики является применение корреляционного, параметрического, кластерного анализа для определения потенциальной привлекательности территории для мигрантов. Отличительная особенность предложенного подхода заключается в его ориентированности на выявлении системной взаимообусловленности динамики социально-экономических и демографических процессов, анализе причинно-следственных взаимосвязей, выделении факторов и условий сбалансированного развития этих процессов с применением формализованных математических методов.

Понятие «привлекательность территории» более широкое, чем понятие «сальдо миграции», поскольку при оценке привлекательности необходимо учитывать не только текущий итог миграционного обмена, но также возможность привлечения населения на конкретную территорию и удержание его за счет создания конкурентных условий жизнедеятельности. В данном случае уровень экономического развития территории, наличие развитого рынка труда, высокий уровень доходов населения и развитая социальная инфраструктура, как было отмечено выше, являются необходимой предпосылкой и важнейшим фактором при выборе мигрантом территории для проживания и трудоустройства, при оценке им степени привлекательности и качества среды обитания с точки зрения удовлетворения его жизненных потребностей.

Предлагаемый нами подход основывается на двухэтапном алгоритме оценки уровня привлекательности территорий и предусматривает применение методов параметрического анализа для последовательного отбора наиболее значимых социально-экономических факторов, определяющих потенциальную привлекательность территории для мигрантов. На следующем этапе с применением методов кластерного анализа проводится типологизация регионов по уровню привлекательности на основе достоверных оценок степени связанности выявленных факторов с фактической динамикой миграции.

В соответствии с предложенным алгоритмом для исследования факторов миграционной привлекательности на первом этапе экспертным путем из более чем 100 статистических показателей социально-экономического развития регионов России был проведен отбор показателей, которые характеризуют все основные сферы жизнедеятельности населения и могут потенциально оказывать влияние на динамику и направленность миграционных потоков. В связи с трудоемкостью использования большой совокупности показателей для оценки «социально-экономического портрета» территорий целесообразно уменьшить размерность исходной выборки, оценив тесноту связи между варьирующими признаками. Для выявления наличия или отсутствия связи между различными признаками широко применяется корреляционный анализ. Основной предпосылкой для его применения являются необходимость подчинения совокупности значений всех факторных и результативного признаков k -мерному нормальному закону распределения или близость к нему. С помощью методов

корреляционного анализа был выделен 31 статистически значимый показатель, их можно рассматривать в качестве базовых характеристик уровня развития территорий. Далее был использован компонентный анализ, который позволил определить зависимость базовых показателей социально-экономического развития регионов (табл.1).

Таблица 1

Исходные показатели и результаты компонентного анализа

Показатель	Обозначение	Компоненты					
		1	2	3	4	5	6
Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	X^{n1}	0,749	0,315	0,072	0,343	0,18	-0,199
Численность безработных, тыс. чел.	X^{n2}	-0,142	0,046	-0,120	-0,581	0,504	0,677
Среднедушевые денежные доходы (в месяц), руб.	X^{n3}	0,864	0,121	-0,001	0,422	0,18	-0,175
Потребительские расходы в среднем на душу населения (в месяц), руб.	X^{n4}	0,621	0,269	-0,149	0,601	-0,105	-0,201
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.	X^{n5}	0,914	0,143	0,063	0,278	0,950	0,036
Средний размер назначенных пенсий, руб.	X^{n6}	0,903	0,028	0,063	-0,039	0,227	0,299
Доля численности населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума в общей численности населения субъекта, %	X^{n7}	-0,349	-0,203	0,190	-0,580	0,137	0,442
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, всего, кв. м	X^{n8}	0,145	0,218	0,020	0,858	-0,261	0,022
Численность граждан, пользующихся социальной поддержкой по оплате жилого помещения и коммунальных услуг, тыс. чел.	X^{n9}	-0,022	-0,517	0,014	0,145	0,072	-0,277
Среднемесячный размер социальной поддержки на одного пользователя, руб.	X^{n10}	0,734	0,430	0,049	-0,124	0,113	0,115
Численность детей, стоящих на учете для определения в дошкольные образовательные организации, всего, тыс. чел.	X^{n11}	0,207	0,083	0,044	0,370	0,097	-0,279
Численность студентов, обучающихся по программам подготовки среднего профессионального образования, тыс. чел.	X^{n12}	0,093	-0,023	-0,225	-0,630	0,340	0,711
Численность специалистов среднего звена: квалифицированных рабочих, служащих,	X^{n13}	-0,195	0,403	0,109	-0,669	0,666	0,732

Показатель	Обозначение	Компоненты					
		1	2	3	4	5	6
тыс. чел.							
Валовой коэффициент охвата дошкольным образованием, % от численности детей в возрасте 1–6 лет	X ⁿ¹⁴	0,350	0,371	0,052	0,721	0,104	0,138
Численность врачей, всего, тыс. чел.	X ⁿ¹⁵	0,305	0,260	0,785	0,318	0,047	-0,098
Численность среднего медицинского персонала, чел. на 10 тыс. чел. населения	X ⁿ¹⁶	0,424	0,067	0,807	-0,158	0,332	0,217
Число больничных коек, всего, тыс. ед.	X ⁿ¹⁷	0,054	0,174	0,890	0,006	0,822	0,323
Валовой региональный продукт, всего, млн руб.	X ⁿ¹⁸	0,465	0,881	0,176	0,156	0,055	-0,012
Инвестиции в основной капитал в фактически действовавших ценах, млн руб.	X ⁿ¹⁹	0,596	0,825	0,181	0,115	0,055	-0,043
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по видам экономической деятельности, млн руб.	X ⁿ²⁰	0,555	0,862	0,172	0,069	0,128	0,01
Продукция сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий (в фактически действовавших ценах), млн руб.	X ⁿ²¹	-0,382	0,243	0,237	0,241	-0,136	-0,414
Посевная площадь всех сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий, тыс. га	X ⁿ²²	-0,550	0,311	0,192	-0,305	0,254	0,130
Ввод в действие жилых домов, тыс. кв. м общей площади жилых помещений	X ⁿ²³	-0,255	-0,328	-0,229	0,702	0,272	0,732
Оборот розничной торговли в фактически действовавших ценах, всего, млн руб.	X ⁿ²⁴	0,494	0,773	-0,218	0,406	-0,063	-0,277
Оборот общественного питания в фактически действовавших ценах, млн руб.	X ⁿ²⁵	0,888	-0,025	-0,017	0,261	-0,049	0,115
Удельный вес домашних хозяйств, имевших широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе домашних хозяйств, %	X ⁿ²⁶	0,480	-0,037	0,132	0,456	0,287	-0,279
Удельный вес населения, использовавшего сеть Интернет, в общей численности населения, %	X ⁿ²⁷	0,360	0,217	0,463	-0,404	0,563	0,021

Показатель	Обозн а- чение	Компоненты					
		1	2	3	4	5	6
Удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе обследованных организаций, %	X^{n28}	0,112	0,540	0,010	-0,313	0,501	0,090
Численность активных абонентов широкополосного доступа к сети Интернет на 100 чел. населения, ед.	X^{n29}	0,231	0,425	-0,061	0,312	0,246	-0,153
Индекс потребительских цен (декабрь к декабрю предыдущего года), %	X^{n30}	-0,610	-0,219	0,014	-0,090	-0,031	-0,241
Плотность населения, чел./кв. км	X^{n31}	0,539	-0,041	0,153	-0,245	0,081	0,587

Согласно результатам, представленным в табл. 1, первая главная компонента наиболее тесно связана с финансами населения. Признаки, вошедшие в данную компоненту, обуславливают 32,53% общей дисперсии. Вторая главная компонента объединяет экономические показатели. Вклад компоненты в общую дисперсию признаков составляет 29,59%. Третья компонента обуславливает практически 12,0% общей дисперсии и включает показатели здравоохранения. В четвертую компоненту вошли социальные показатели. Значение вклада четвертой компоненты в общую дисперсию признаков составляет 11,0%.

Значение главной компоненты (Z_{ki}) рассчитывается как средневзвешенная величина значений частных показателей по формуле:

$$Z_{ki} = \frac{X_i^{n1} \cdot a_{11} + X_i^{n2} \cdot a_{21} + \dots + X_i^{nj} \cdot a_{jk}}{\sum_{k=1}^4 a_{jk}}, 1 \leq k \leq 4, \quad (1)$$

где Z_{ki} – значение k -й главной компоненты для i -го региона РФ; X_i^{nj} – нормированное значение j -го показателя для i -го региона РФ; a_{jk} – факторная нагрузка (вес) j -го параметра в k -й компоненте.

По результатам компонентного анализа интегральный показатель привлекательности региона K_i был рассчитан по следующей формуле:

$$K_i = \sqrt[4]{(Z_{1i} \cdot 0,32 + Z_{2i} \cdot 0,29 + Z_{3i} \cdot 0,12 + Z_{4i} \cdot 0,11)} \cdot 100 \quad (2)$$

где Z_{1i}, \dots, Z_{4i} – значения соответствующей главной компоненты для i -го региона РФ.

На основе кластеризации были выделены 6 однородных групп регионов.

Таблица 2

Результаты кластеризации регионов России по привлекательности для мигрантов из Республики Башкортостан

№ клас-тера	Состав кластера
1.	г. Москва (2,75); Ханты-Мансийский АО (2,41); г. Санкт-Петербург (2,39)
2.	Московская обл. (2,33); Тюменская обл. (2,14); Республика Татарстан (2,04); Ленинградская обл. (1,91); Челябинская обл. (1,98)
3.	Республика Коми (2,28); Республика Саха (Якутия) (2,40); Мурманская обл. (2,39); Архангельская обл. (2,20); Ямало-Ненецкий АО (2,66)
4.	Свердловская обл. (2,12); Оренбургская обл. (1,87); Краснодарский край (2,05); Пермский край (1,95); Красноярский край (2,14); Самарская обл. (1,97); Саратовская обл. (1,90); Нижегородская обл. (2,05); Приморский край (2,04); Волгоградская обл. (1,86); Омская обл. (1,96); Ростовская обл. (1,91); Новосибирская обл. (2,03); Республика Крым (1,79); Иркутская обл. (2,02); Воронежская обл. (1,94); Республика Удмуртия (1,93); Тульская обл. (1,97)
5.	Томская обл. (2,04); Ульяновская обл. (1,91); Пензенская обл. (1,87); Калужская обл. (2,04); Калининградская обл. (1,96); Кировская обл. (1,96); Астраханская обл. (2,00); Чувашская Республика (1,86); Тверская обл. (1,96); Смоленская обл. (1,98); Ярославская обл. (2,05)
6.	Республика Адыгея (1,89); Республика Марий Эл (1,89); Псковская обл. (2,03)

В первый кластер вошли наиболее экономически развитые регионы как г. Москва (2,75), Ханты-Мансийский АО (2,41), г. Санкт-Петербург (2,39).

Второй кластер составили регионы с незначительным миграционным оттоком населения.

В третий кластер вошли следующие регионы: Республика Коми (2,28), Республика Саха (Якутия) (2,40), Мурманская область (2,39), Архангельская область (2,20); Ямало-Ненецкий АО (2,66).

Четвертый кластер составили регионы, отличающиеся низким уровнем развития в сфере культуры, торговли и средним уровнем развития экономики.

Регионы, составляющие пятый кластер, отличаются низким уровнем доходов населения и социально-экономического развития в целом.

Регионы шестого кластера являются наиболее «депрессивными» регионами из рассматриваемого перечня.

Таким образом, применение экономико-математических методов, в частности факторного и кластерного анализа может стать эффективным инструментом обоснования управленческих решений по оптимизации процессов расселения. Это позволит выявлять факторы миграционной привлекательности территорий, выделять однородные группы регионов с целью выработки специфических мер и создания дифференцированных механизмов для регулирования миграционных потоков.

3. Разработана нечеткая модель описания субъективных аспектов миграционного поведения населения трудоспособного возраста. Отличительной особенностью модели является интеграция данных из

социологических опросов, обеспечивающая эмпирическую основу для моделирования и анализа (желаемая заработная плата). Предложенный подход направлен на оценку слабоформализуемых параметров социальной среды, близкую к реальным оценкам, которые люди формируют в повседневной жизни.

Принятие социально значимого решения, такого как миграция в другой регион, происходит на основании сложной системы оценок различных параметров уровня жизни. В рамках данного исследования для формализации параметров уровня жизни населения Республики Башкортостан был выбран аппарат нечеткой логики, позволяющий получать нормированные оценки на основе неточной информации.

К основным факторам, влияющим на оценку уровня жизни, и, следовательно, на принятие решения о миграции, относятся уровень заработной платы, возможность получения образования и др. Ни один из этих факторов не поддается простой количественной оценке. Следует определить основные факторы, которые окажут влияние на агента при поиске работы, в частности, при оценке предлагаемой заработной платы. Во-первых, он будет сравнивать предлагаемую заработную плату с той, которую получают его знакомые с аналогичным уровнем образования и квалификацией. В-третьих, агент должен учитывать конъюнктуру на рынке труда. Для формализации параметров уровня жизни был выбран аппарат нечеткой логики и проведено нечеткое моделирование в среде Matlab с помощью расширения Fuzzy Logic Toolbox. Выходной переменной является «Желаемый уровень жизни». В качестве входных лингвистических переменных определены: возраст, разница между желаемым и фактическим уровнем заработной платы, тыс. руб. и уровень образования.

Таблица 3

Параметры нечеткой модели

Наименование	Диапазон значений	Термы	Тип функциональной принадлежности
Возраст	0...100	молодой средний пожилой	Гауссова
Отношение желаемого и фактического уровня заработной платы	0...150	высокий средний низкий	Гауссова
Уровень знаний		высокий средний низкий	Гауссова
Статус агента	1...3	активный не активный	Гауссова

С помощью модуля fuzzy на основании знаний экспертов были сформированы 34 продукционных правила, которые имеют вид «Если - То».

Например, ЕСЛИ возраст – молодой, заработная плата – низкая, уровень образования – начальный, ТО миграционная активность человека – низкая.

На основе разработанных правил формируется визуальная поверхность, которая позволяет оценить адекватность построенной модели. На рис. 2 представлена поверхность, отражающая зависимость выходной переменной от разницы между фактической и желаемой величиной заработной платы, а также уровня образования. Желаемый уровень жизни агента возрастает с увеличением уровня его образования и степени неудовлетворенности уровнем заработной платы.

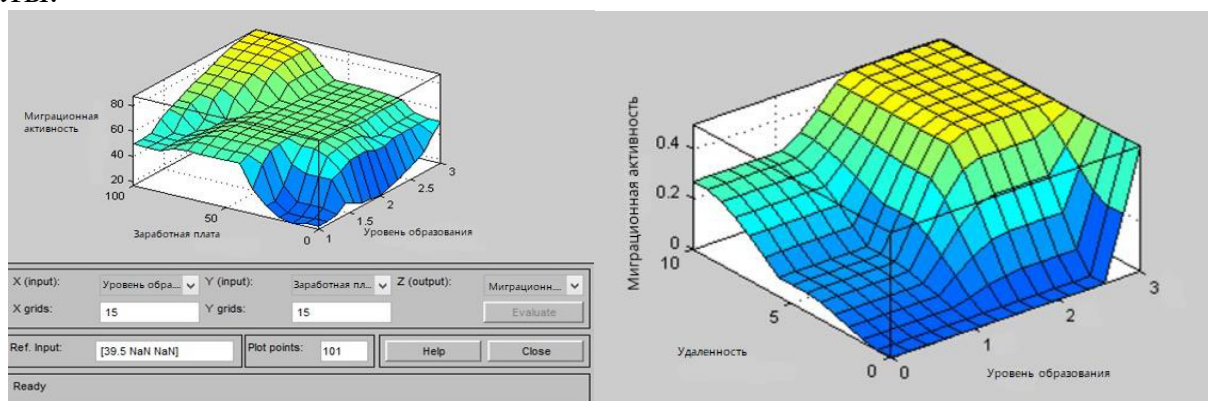


Рис. 2 – Окно просмотра поверхности нечеткого вывода

Создание модели с учетом описания субъективных аспектов поведения социального индивида позволит более точно моделировать и прогнозировать миграционное поведение агентов.

4. Разработан алгоритм и имитационная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона на основе многоагентного моделирования и геоинформационных технологий; апробированы программные реализации поведения мигранта. Проведено прогнозирование экономического развития территорий и уровня миграции в разработанной модели.

В рамках разработки цифровой модели представлен алгоритм, описывающий принятие решения о миграции на примере мигранта трудоспособного возраста (рис. 3).

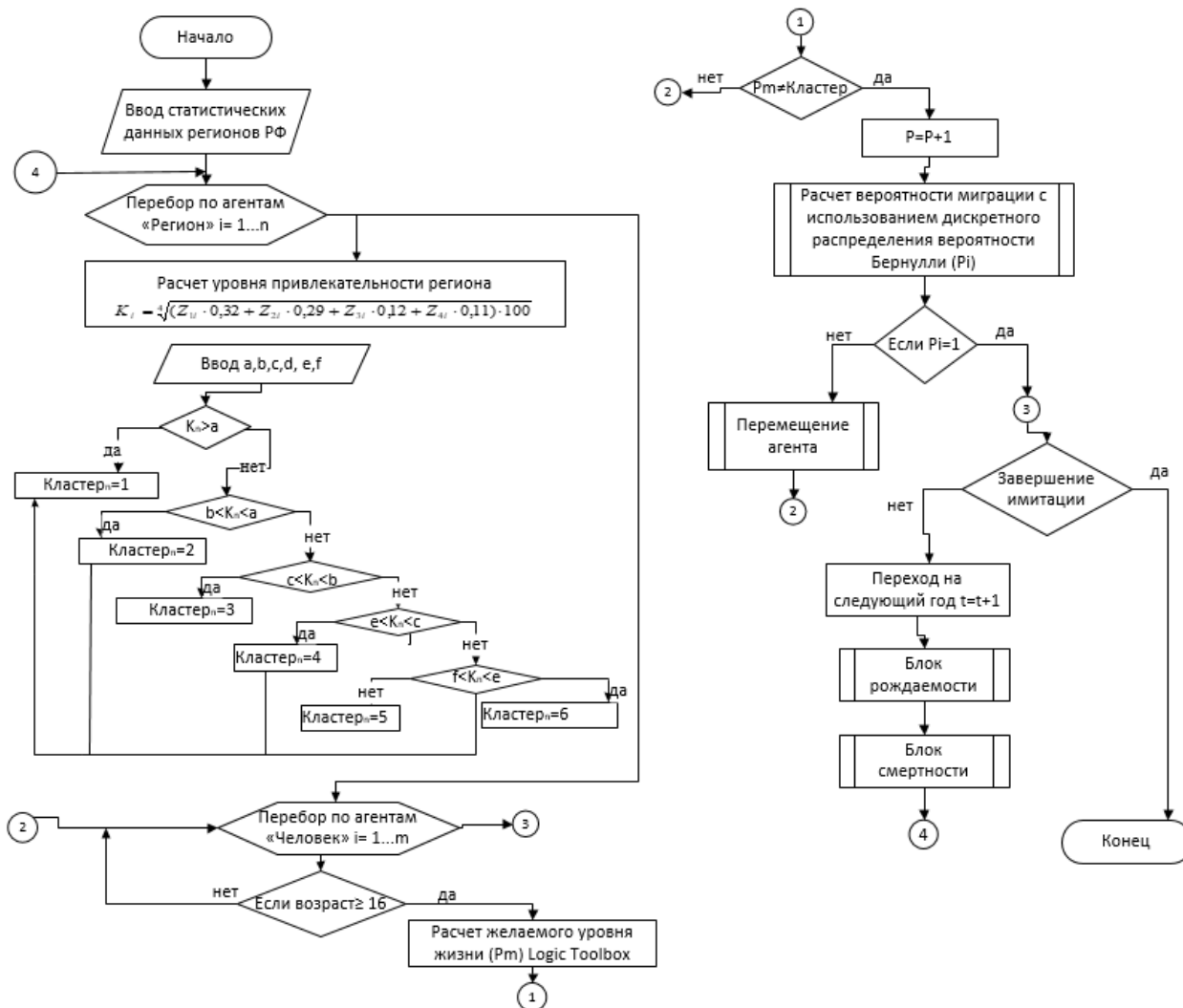


Рис. 3 – Алгоритм поведения человека в модели

Оценка уровня привлекательности регионов в модели проводится ежегодно на основе социально-экономических показателей. Далее осуществляется расчет желаемого уровня агента «Человек». Оценка желаемого уровня жизни осуществляется как на основе количественных, так и качественных показателей, в связи с чем для расчета используется модуль нечеткой логики. Если уровень жизни больше коэффициента привлекательности территории проживания, осуществляется расчет коэффициента выбытия (K_{2T}).

Далее на основе полученного коэффициента выбытия определяется миграционная подвижность населения (P_T) с использованием дискретного распределения вероятности Бернулли. Если желаемый уровень жизни не соответствует (больше) коэффициенту привлекательности территории и миграционная подвижность агента равна 1, то для него реализуется механизм поиска новой территории для проживания.

Описана программная реализация, включающая технические средства и языки программирования реализации алгоритмов (рис.4).

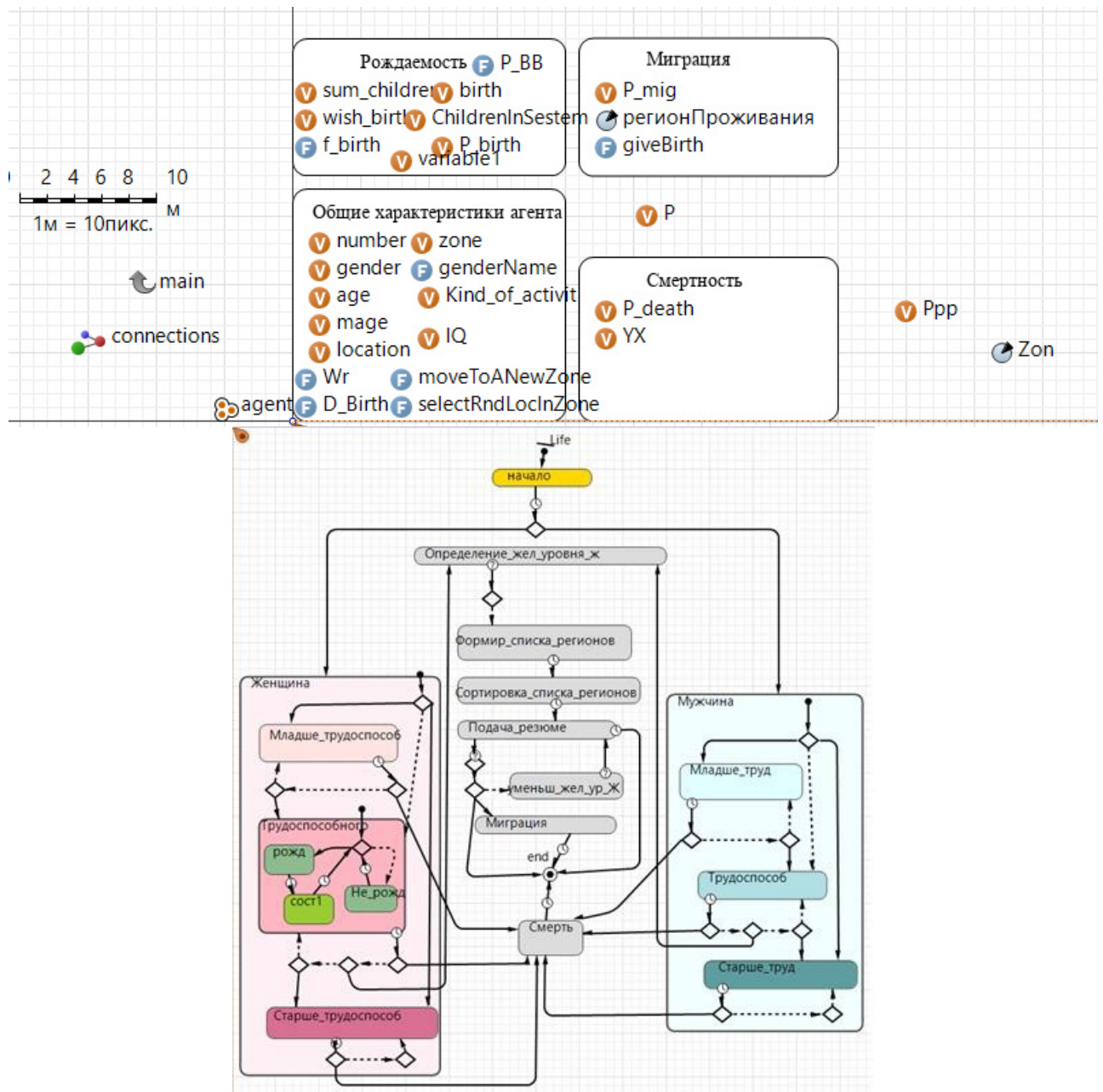


Рис. 4 – Экземпляр агента «Человек»

С использованием разработанной модели сформирован прогноз изменения уровня социально-экономического развития и миграции в регионах Российской Федерации и учтены 2 сценария развития ситуации: инерционный и оптимистичный. Инерционный вариант в целом предполагает сохранение сложившихся тенденций развития по всем основным социально-экономическим показателям до конца рассматриваемого периода, т.е. до 2030 г. Оптимистичный сценарий предусматривает улучшение социально-экономической ситуации в Республике Башкортостан по сравнению со сложившимися тенденциями. Для оценки темпов роста социально-экономических показателей рассматривались лучшие результаты, достигнутые за предыдущие годы. Также уделено внимание ограничениям модели и возможным направлениям дальнейших исследований.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования сформулированы следующие выводы, обобщающие полученные результаты.

Предложена концептуальная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития регионов, основанная на системной взаимообусловленности динамики экономических и миграционных процессов на региональном уровне для исследования закономерностей и тенденции коэволюции рассматриваемых процессов.

Разработан двухэтапный алгоритм оценки привлекательности регионов с которыми осуществляется миграционный обмен Республики Башкортостан, позволяющий проанализировать причинно-следственные взаимосвязи, выделение факторов и условий сбалансированного развития этих процессов.

Разработана нечеткая модель описания субъективных аспектов миграционного поведения населения трудоспособного возраста. Предложенный подход направлен на оценку слабоформализуемых параметров социальной среды, близкие к реальным оценкам, которые люди формируют в повседневной жизни. Разработанная нечеткая модель позволяет более точно моделировать и анализировать выборы и решения индивидов, а также проводить сценарные анализы.

Разработан алгоритм и имитационная модель взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона на основе многоагентного моделирования и геоинформационных технологий; апробированы программные реализации поведения мигранта. Проведено прогнозирование экономического развития территорий и уровня миграции в разработанной модели.

Результаты, полученные по итогам проведения исследования позволяют решить поставленные задачи.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи в изданиях, определенных RSCI:

1. Ахметзянова М.И. Оценка влияния уровня социально-экономического развития регионов России на динамику миграционных процессов на основе методов параметрического анализа / М.М. Низамутдинов, М.И. Ахметзянова // Регион: экономика и социология. – 2023. – №4. – С. 170–193. DOI: 10.15372/REG20230407.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Низамутдинов М.М., Ахметзянова М.И., Минязев А.И. Подходы и инструментальные средства моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий // Экономика промышленности. – 2022. – Т.15. – №3. – С. 367–379. DOI: 10.17073/2072-1633-2022-3-367-379.

2. Низамутдинов М.М., Ахметзянова М.И. Инструментарий мониторинга и прогнозирования пространственного развития территориальных систем с применением технологий геоинформационного моделирования // ИЗВЕСТИЯ УФИМСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН – 2023. – №. 4. – С. 60–65. DOI: 10.31040/2222-8349-2023-0-4-60-65

Статьи, материалы в сборниках научных трудов и конференций

1. Ахметзянова М.И. Ключевые характеристики современного мигранта Республики Башкортостан // Научные записки молодых исследователей. – 2022. – №6. – С. 67–71.

2. Ахметзянова М.И., Минеева Е.А. Анализ результатов межрегиональной миграции в Республике Башкортостан // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: Материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Уфа, ИСЭИ УФИЦ РАН, 2022. С. 124–129.

3. Низамутдинов М.М., Ахметзянова М.И. Подход к моделированию взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона с применением нечеткой логики, геоинформационных технологий и агент-ориентированного моделирования. Системное моделирование социально-экономических процессов: Материалы 46-ого заседания международной научной школы-семинара. – Москва, ЦЭМИ РАН. 2023. С. 1–7.

4. Низамутдинов М.М., Ахметзянова М.И. Моделирование взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона с применением многоагентного подхода. Системное моделирование социально-экономических процессов: Материалы 47-ого заседания международной научной школы-семинара. – Москва, ЦЭМИ РАН. 2024. С. 1–7.